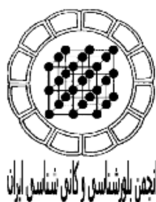
مقاله پژوهشی



مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

سال سی و یکم، شمارهٔ دوم، تابستان ۱۴۰۲، از صفحهٔ ۲۷۷ تا ۲۹۰

بررسی دگرسانی، کانه‌زایی و میانبارهای سیال ذخیره مس- طلای خوینرود، شمال ورزقان، استان آذربایجان شرقی، شمال‌غرب ایران

قهرمان سهرابی*[1]، فاطمه حسنی سوقی[2]، زهرا حسنی سوقی[2]

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۵/۵، نسخه نهایی: ۱۴۰۱/۸/۲۸)

چکیده: منطقه خوینرود در ۲۵ کیلومتری شمال شهرستان ورزقان، استان آذربایجان شرقی و در منطقه فلززایی ارسباران قرار دارد. سنگ‌های میزبان رگه- رگچه‌های کوارتز دارای ترکیب کوارتزمونزونیتی و دیوریتی هستند. دگرسانی‌های قابل تشخیص پیرامون رگه- رگچه‌های کوارتزی شامل انواع سیلیسی، فیلیک، آرژیلی و پروپیلیتی هستند. رگه- رگچه‌های کوارتزی بافت‌های نواری، شانه‌ای، پرکننده فضای خالی، حفره‌ای و برشی دارند. کانه‌زایی طی دو مرحله درونزاد و برونزاد رخ داده است. کانی‌های درونزاد شامل کانی‌های سولفیدی (کالکوپیریت، پیریت و بورنیت) و طلا هستند که با کانی‌های برونزاد چون اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت، هماتیت و جاروسیت)، کربنات‌های مس (مالاکیت و آزوریت) و سولفیدهای ثانویه مس (کوولیت و کالکوسیت) همراهی می‌شوند. دماسنجی میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع در کانی کوارتز همزاد با کانی‌سازی نشان می‌دهد که شوری میانبارهای سیال بین ۸ تا ۲۰ درصد وزنی معادل نمک طعام و دمای همگن‌شدگی آنها در گستره ۱۴۰ تا ۳۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار است. بر اساس یافته‌های دماسنجی، لیگاندهای مؤثر در حمل و نقل فلزها از نوع کلریدی و سولفیدی بوده و پدیده جوشش، سرد شدن و رقیق‌شدگی با سیال-های جوی مهمترین سازوکارها در نهشت کانسنگ‌ها هستند. بررسی یافته‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌شناسی، بافتی و میانبارهای سیال در رگه- رگچه‌های کوارتز نشان می‌دهد که کانه‌زایی در منطقه خوینرود شباهت بسیاری به ذخایر فراگرمایی نوع سولفیدشدگی پایین دارد.

واژه‌های کلیدی: *میانبارهای سیال؛ کانه‌زایی طلا؛ فراگرمایی؛ خوینرود؛ ورزقان.*

مقدمه

منطقه خوینرود در ۲۵ کیلومتری شمال شهرستان ورزقان در استان آذربایجان شرقی و در منطقه فلززایی ارسباران واقع است. این منطقه بر اساس تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختاری ایران [۱] در پهنه البرز- آذربایجان (شکل ۱ الف) و از نظر موقعیت زمین‌شناسی بر نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورزقان [۲] با مختصات عرض جغرافیایی ″۴۲ ′۴۱ °۳۸ تا ″۲۳ ′۴۲ °۳۸ شمالی و طول جغرافیایی ″۱۲ ′۳۷ °۴۶ تا ″۳۱ ′۳۸ °۴۶ شرقی دارد. منطقه فلززایی ارسباران که گستره شمال و غرب مشگین‌شهر، اهر، کلیبر، ورزقان، سیه‌رود و بلندی‌های ارسباران و قره‌داغ را شامل می‌شود، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و شناخته‌شده‌ترین مناطق فلززایی ایران با کانه‌زایی مس- مولیبدن و طلا مطرح است. این منطقه از نظر زمین‌شناسی از جنوب و جنوب‌غرب به گسل تبریز- سلطانیه، از شرق به گسل اردبیل- میانه و از شمال‌شرق به فروافتادگی نزدیک گسل شرقی- غربی مغان محدود است. ادامه این منطقه فلززایی در شمال به پهنه فلززایی قفقاز کوچک می‌رسد [۳]. بیشتر سنگ‌های سازنده منطقه فلززایی ارسباران را سنگ‌های

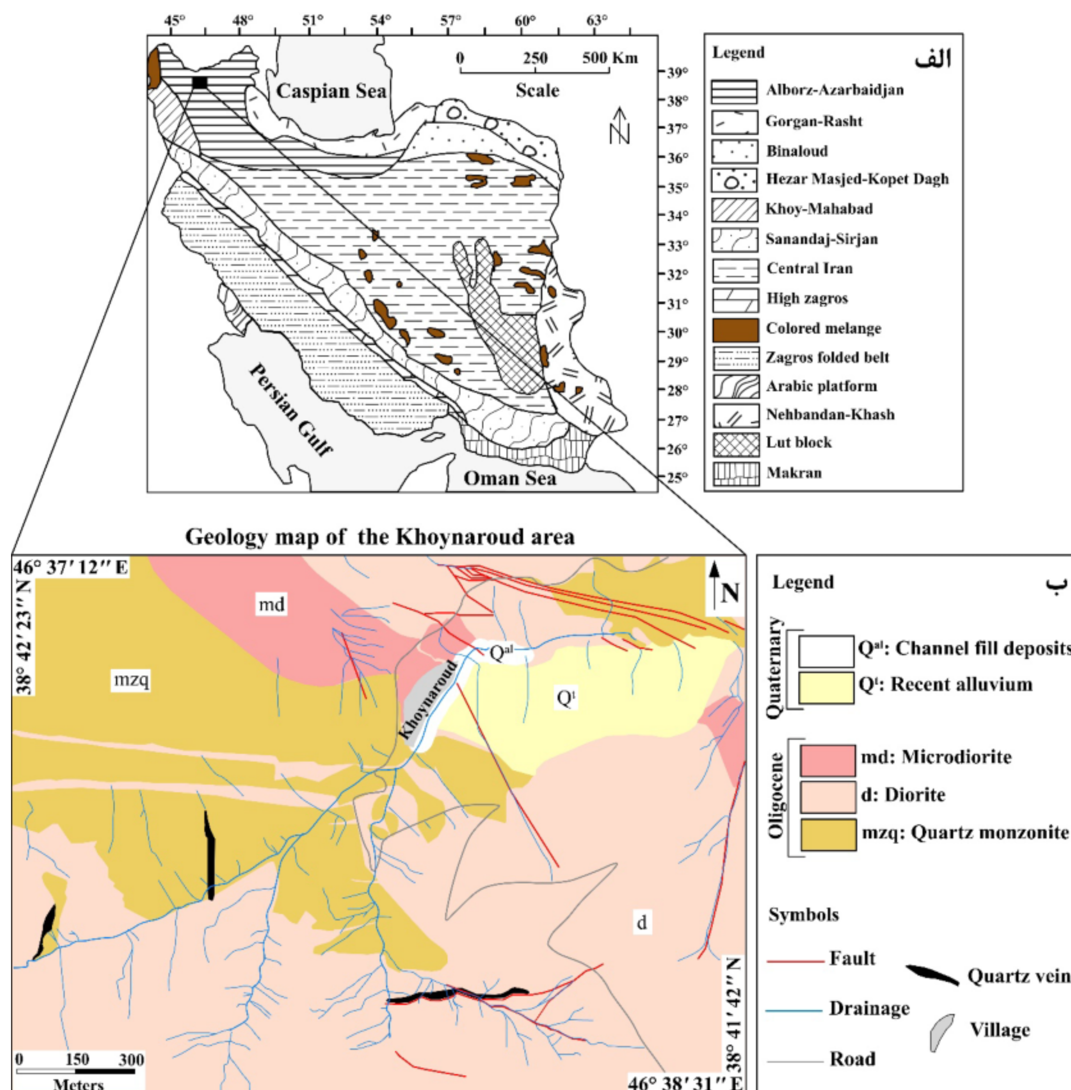
*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۳۱۰۹۸۶۶، نمابر: ۰۴۵۳۳۵۱۴۷۰۱، پست الکترونیکی: q_sohrabi@yahoo.com

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.5.8]

[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.277]

ماگمایی ترشیری تشکیل می‌دهند که از کرتاسه پسین با فعالیت‌های آتشفشانی از نوع آندزیتی شروع شده و به‌طور متناوب تا کواترنر ادامه می‌یابند [۴]. انواع کانسارها و نشانه‌های معدنی به‌صورت رگه‌ای (در نفوذی‌ها و آتشفشانی‌ها)، اسکارن و نیز پورفیری در گستره‌ای از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و نفوذی‌های پس از ائوسن در این منطقه شناسایی شده‌اند. کانسارهای سونگون [۵]، مسجدداغی [۶، ۷]، شرف‌آباد [۸]، صفی‌خانلو- نقدوز [۹، ۱۰]، نبی‌جان [۱۱]، مزرعه [۱۲] و استرقان [۱۳] از جمله کانسارهای این منطقه هستند.

در سال ۱۳۶۴، به حضور طلا در منطقه خوینرود اشاره شد [۱۴]. در سال ۱۳۷۰، پتانسیل طلا و سایر عناصر در منطقه خوینرود به روش زمین‌شیمیایی و کانی‌های سنگین در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ بررسی شد و نقشه زمین‌شناسی و معدنی در مقیاس ۱:۵۰۰۰ تهیه گردید که بر اساس آن، مقدار طلا در نمونه‌های کانی سنگین از ۱ تا ۱۶۴ ذره و قطر آنها از ۷۵ تا ۱۴۰۰ میکرون متغیر است [۱۵]. سپس در سال ۱۳۸۵، عملیات اکتشافی (حفر ترانشه) در این منطقه توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شد [۱۶]. در این پژوهش، افزون بر ویژگی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانه‌زایی، مشخصه‌های میانبارهای سیال و شرایط فیزیکوشیمیایی سیال‌های کانه‌ساز در منطقه بررسی شد. امید است نتایج این پژوهش بتواند برای پیشبرد اهداف اکتشافی در منطقه مفید و مؤثر واقع شود.



شکل ۱ الف) موقعیت منطقه مورد بررسی بر نقشه تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختاری ایران [۱] و ب) نقشه زمین‌شناسی منطقه خوینرود که با تغییرات از مرجع [۲] برگرفته شده است.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.5.8]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.277]

روش بررسی

بررسی‌های انجام شده در این پژوهش دربرگیرنده دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی است. در بخش صحرایی، پیمایش و بازدیدهای صحرایی برای شناسایی پهنه‌های دگرسانی، کانی‌سازی، رگه- رگچه‌های کوارتزی، بررسی ارتباط بین آنها و سنگ‌های میزبان و نمونه‌گیری از آنها (حدود ۵۰ عدد) به‌منظور بررسی های آزمایشگاهی انجام شد. در بخش آزمایشگاهی، ۲۰ مقطع نازک و ۱۰ مقطع نازک- صیقلی برای سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری تهیه و در آزمایشگاه زمین‌شناسی دانشکده علوم پایه دانشگاه محقق اردبیلی بررسی گردید. برای بررسی میانبارهای سیال، ۵ مقطع دوبر صیقلی از رگه- رگچه‌های کوارتزی تهیه شد. بررسی‌های سنگ‌نگاری میانبارهای سیال با میکروسکوپ المپوس مدل BX50 و با عدسی 100X انجام شد. اندازه‌گیری‌های دماسنجی بر میانبارهای سیال با دستگاه لینکام مدل THMSG600 صورت گرفت. گستره دمایی دستگاه از ۶۰۰+ تا ۱۹۶- درجه سانتی‌گراد با دقت ۰/۰۱ درجه سانتی‌گراد است. واسنجی دستگاه به کمک استانداردهای نیترات سدیم با نقطه ذوب ۳۰۶/۸+ درجه سانتی‌گراد و تتراکلرید کربن با نقطه ذوب ۲۲/۹۹- درجه سانتی‌گراد انجام شد.

بحث و بررسی

زمین‌شناسی و سنگ‌نگاری

با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه خوینرود، مجموعه واحدهای سنگی برونزدیافته شامل واحدهای کوارتزمونزونیتی، دیوریتی، میکرودیوریتی و رسوب‌های کواترنری هستند (شکل ۱ ب) که در ادامه توصیف می‌شوند.

واحد کوارتزمونزونیتی (mzq): این توده نفوذی از نظر سنی مربوط به الیگوسن است [۲] و به‌صورت یک توده بیضوی شکل و در راستای تقریبی شرقی- غربی برونزد دارد (شکل ۲ الف). قطر بزرگ این توده بیضوی شکل حدود ۲/۶ کیلومتر و قطر کوچک آن حدود ۰/۹ کیلومتر است، از اینرو می‌توان آن را به شکل یک استوک بیضوی کوچک در نظر گرفت. این استوک کوارتزمونزونیتی از شرق و غرب با توده دیوریتی در برگرفته شده است. در برخی بخش‌ها، این واحد سنگی رگه- رگچه‌های کوارتزی را میزبانی می‌کند. ویژگی‌های بافتی این توده نشان‌دهنده بافت پورفیری است. به توده نفوذی یاد شده دو توده دیوریتی و دایک‌های وابسته هجوم آورده‌اند. برونزد این دو توده دیوریتی بیشتر در جنوب‌شرق، جنوب و جنوب‌غرب واحد کوارتزمونزونیتی است. روند اغلب دایک‌ها شمال‌غرب- جنوب‌شرق تا شرقی- غربی است و تعدادی از آن‌ها دارای روند شمالی- جنوبی تا شمال‌شرق- جنوب‌غرب هستند. واحد سنگی کوارتزمونزونیتی در زیر میکروسکوپ دارای بافت پورفیری و دربردارنده بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه ریزبلوری از کوارتز، فلدسپارقلیایی و پلاژیوکلاز است (شکل ۲ ب). پلاژیوکلازها به‌صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار (۰/۵ تا ۳ میلی‌متر) هستند و اغلب به کانی‌های ثانویه سریسیت، اپیدوت، کانی‌های رسی و کلسیت دگرسان شده‌اند (شکل ۲ ب). فلدسپارهای قلیایی به‌صورت بلورهای بی‌شکل در متن سنگ پراکنده هستند. بلورهای بیوتیت، آمفیبول، آپاتیت و زیرکن نیز به‌صورت کانی‌های فرعی حضور دارند. کانی‌های بیوتیت و آمفیبول به‌صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار (۰/۸ تا ۱ میلی‌متر) دیده می‌شوند و اغلب به مجموعه‌ای از کانی‌های ثانویه کلریت، کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن تجزیه شده‌اند. کانی‌های ثانویه کوارتز و اکسیدهای آهن به‌صورت پراکنده و رگچه‌ای در متن سنگ دیده می‌شوند.

واحد دیوریتی (d): این توده نفوذی بیشترین حجم برونزدهای جنوب و جنوب‌شرق منطقه مورد بررسی را شامل می‌شود. اغلب رگه- رگچه‌های کوارتزی در این واحد سنگی میزبان برونزد یافته‌اند (شکل ۱ ب). این توده دیوریتی توده کوارتزمونزونیتی را قطع کرده و از آنجا که خود با رگه- رگچه‌های کوارتزی قطع شده است، به‌نظر می‌رسد که زمان نفوذ آن پس از تزریق توده کوارتزمونزونیتی و پیش از فعالیت‌های گرمابی استوک پورفیری بوده است. وجود میانبارهایی از واحد کوارتزمونزونیتی درون توده دیوریتی را می‌توان شاهدی بر این امر دانست. دایک‌های با ترکیب شبیه توده دیوریتی، توده کوارتزمونزونیت پورفیری را قطع کرده‌اند، که به‌نظر می‌رسد که از همان توده شکل گرفته و در زمان جایگیری توده دیوریتی در شکستگی‌های استوک کوارتزمونزونیتی به‌صورت دایک نفوذ کرده‌اند (شکل ۲ پ). این دایک‌ها اغلب دارای روند شمال‌غرب- جنوب‌شرق تا شرقی- غربی با راستای شیب شمال‌شرق هستند. اندازه شیب دایک‌ها نیز ۷۰ تا ۹۰ درجه است. از نظر ماکروسکوپی، اغلب این نمونه‌ها رنگ سبز روشن تا تیره و بافت پورفیری دارند که با درشت بلورهای پلاژیوکلاز و آمفیبول مشخص می‌شوند. کلریت

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.5.8]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.277]

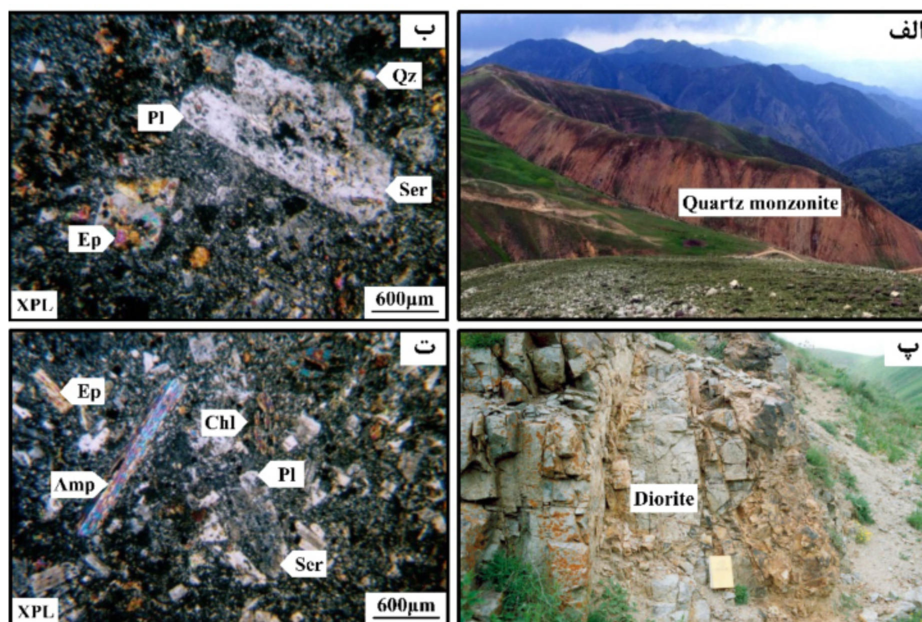
و اپیدوت در این نوع سنگ‌ها در مقیاس ماکروسکوپی به مقدار کم دیده می‌شوند. این سنگ‌ها در زیر میکروسکوپ دارای بافت پورفیری و شامل بلورهای پلاژیوکلاز و آمفیبول در زمینه ریزسنگی از پلاژیوکلاز و آمفیبول هستند (شکل ۲ ت). پلاژیوکلازها به‌صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار هستند و اغلب به کانی‌های ثانویه سریسیت، اپیدوت و کانی‌های رسی تجزیه شده‌اند (شکل ۲ ت). بلورهای آمفیبول به‌صورت نیمه‌شکل‌دار هستند و بیشتر به کانی‌های ثانویه کلریت دگرسان شده‌اند. آپاتیت‌ها نیز به عنوان کانی‌های فرعی در این سنگ‌ها حضور دارند. کانی‌های کلریت و اپیدوت به صورت پراکنده و کانی ثانویه کوارتز به‌صورت رگچه‌ای در متن سنگ دیده می‌شوند.

واحد میکرودیوریتی (md): این واحد در بخش‌های میانی و شرقی منطقه به‌صورت توده‌ای دیده می‌شود (شکل ۱ ب). دایک‌هایی با این نوع ترکیب در برخی بخش‌ها توده کوارتزمونزونیت پورفیری را قطع نموده‌اند. روند تقریبی این نوع دایک‌ها شمالی- جنوبی با شیب حدود ۷۰ درجه به سمت غرب است. سامانه درزه‌ها در این توده با فواصل کم در راستاهای مختلف دیده می‌شود و از این رو، در بیشتر بخش‌ها خردشدگی زیادی وجود دارد و قطعه‌های آن بسیار زاویه‌دار هستند. سنگ‌های این واحد از نظر ماکروسکوپی به رنگ خاکستری روشن، سبز روشن تا قهوه‌ای هستند و بافت آنها نیز پورفیری است.

رسوب‌های کواترنری (Q^t، Q^{al}): واحد Q^t شامل رس، قلوه‌سنگ و لای و واحد Q^{al} شامل شن، لای و ماسه‌سنگ هستند که پادگانه‌های آبرفتی و مخروط‌افکنه‌های جوان را در منطقه تشکیل می‌دهند [۲].

دگرسانی

دگرسانی گرمابی در منطقه خوینرود گستردگی به نسبت زیادی دارد، ولی بیشترین شدت آن به‌طور معمول به پیرامون پهنه‌های کانه‌دار محدود می‌شود. بر اساس بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی، عمده‌ترین دگرسانی‌ها در منطقه خوینرود شامل انواع دگرسانی‌های سیلیسی، فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک هستند. این دگرسانی‌ها در هر دو واحد سنگی میزبان (کوارتزمونزونیتی و دیوریتی) شناسایی شده‌اند. به طور کلی، با دور شدن از رگه- رگچه‌های کوارتزی از شدت دگرسانی کاسته می‌شود، به‌طوریکه در نزدیکی رگه- رگچه‌های کوارتزی، دگرسانی‌های سیلیسی و فیلیک و در فاصله دورتر از رگه- رگچه‌ها، دگرسانی‌های آرژیلیک و پروپیلیتیک غالب هستند.



شکل ۲ تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از واحدهای سنگی منطقه خوینرود: الف) برونزد صحرایی از واحد کوارتزمونزونیتی (دید به سمت شمال)، ب) دگرسانی پلاژیوکلازها به کانی‌های سریسیت و اپیدوت در واحد سنگی کوارتزمونزونیتی، پ) نمای صحرایی از دایک دیوریتی (دید به سمت شمال‌غرب) و ت) دگرسانی پلاژیوکلازها به کانی‌های سریسیت و اپیدوت و دگرسانی آمفیبول به کانی کلریت در واحد سنگی دیوریتی. (Chl: کلریت، Ser: سریسیت، Ep: اپیدوت، Pl: پلاژیوکلاز، Qz: کوارتز و Amp: آمفیبول [۱۷]).

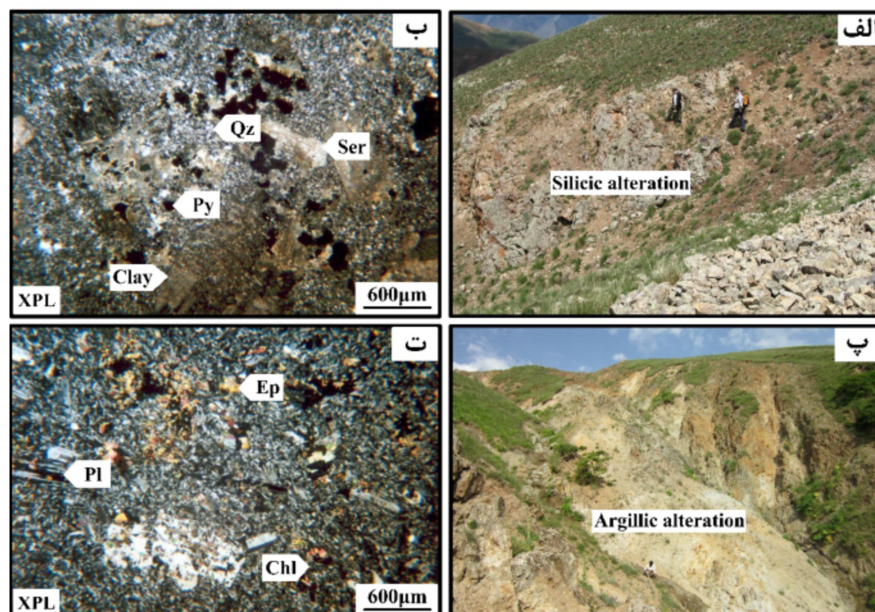
[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.5.8]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.277]

دگرسانی سیلیسی: دگرسانی سیلیسی مهمترین دگرسانی در منطقه بوده و اغلب به‌صورت رگه- رگچه‌ای و سیلیسی‌شدن سنگ‌های میزبان رخ داده است (شکل ۳ الف). این نوع دگرسانی در ارتباط تنگاتنگ با رگه- رگچه‌های کانه‌دار است و به‌طور عمده در لبه رگه- رگچه‌ها دیده می‌شود. پهنه‌های دربردارنده این دگرسانی اغلب به‌دلیل مقاومت بیشتر نسبت به هوازدگی، از نظر مکان‌نگاری به‌صورت مناطق برجسته برونزد دارند. بر اساس بررسی های میکروسکوپی، کانی‌های کوارتز مهمترین کانی‌های سازنده این پهنه هستند که به‌صورت بلورهای ریز و درشت حضور دارند. این بلورهای کوارتز به‌صورت رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی و جانشینی در زمینه سنگ‌های میزبان (کوارتزمونزونیت و دیوریت) تشکیل شده‌اند.

دگرسانی فیلیک (یا سریسیتیک): در منطقه مورد بررسی، دگرسانی سریسیتی اغلب پیرامون دگرسانی سیلیسی دیده می‌شود. دگرسانی سریسیتی گسترش به نسبت محدودی در منطقه دارد و به‌رنگ سفید تا خاکستری دیده می‌شود. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، این نوع دگرسانی با حضور کانی‌های سریسیت، کوارتز و پیریت همراه با مقادیر کمی از کانی‌های رسی قابل شناسایی است (شکل ۳ ب). کانی‌های پلاژیوکلاز در این پهنه به‌طور بخشی به سریسیت تجزیه شده‌اند. این نوع دگرسانی به‌طور تدریجی به سمت بیرون به دگرسانی آرژیلیکی تبدیل می‌شود.

دگرسانی آرژیلیک: گستردگی دگرسانی آرژیلیکی نسبت به سایر دگرسانی‌ها در منطقه زیاد است و در لبه دگرسانی سریسیتی دیده می‌شود. این پهنه دگرسانی به‌طور عمده به‌رنگ سفید تا زرد و در برخی بخش‌ها به‌دلیل حضور اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن، به‌رنگ نارنجی تا قرمز دیده می‌شود (شکل ۳ پ). براساس بررسی‌های میکروسکوپی، دگرسانی آرژیلیکی با حضور کانی‌های رسی مشخص می‌شود. در این نوع دگرسانی، کانی‌های رسی اغلب بلورهای پلاژیوکلاز و سریسیت را جانشین کرده‌اند.

دگرسانی پروپیلیتیک: این نوع دگرسانی گسترش کمتری در منطقه دارد و با رنگ سبز تیره قابل تشخیص است. این دگرسانی محدودکنندهٔ بخش‌های خارجی سامانه دگرسانی گرمابی در منطقه است. به‌طور عمده دگرسانی پروپیلیتی شدت بالایی ندارد و بافت اولیه سنگ‌ها به‌ندرت در این پهنه دگرسانی از بین رفته است. بر پایه بررسی های میکروسکوپی، کانی‌های اصلی این نوع دگرسانی در منطقه اپیدوت و کلریت هستند که در آن کانی‌های پلاژیوکلاز به‌صورت بخشی با اپیدوت و کانی‌های فرومنیزین (آمفیبول و بیوتیت) با کلریت جانشین شده‌اند (شکل ۳ ت). کانی‌های کلریت اغلب به رنگ سبز دیده می‌شوند و گاهی دارای بافت شعاعی هستند.



شکل ۳ تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از پهنه‌های دگرسانی در منطقه خوینرود: الف) تصویر صحرایی از پهنه دگرسانی سیلیسی (دید به سمت شمال)، ب) حضور کانی‌های کوارتز، سریسیت و پیریت به همراه کانی‌های رسی در پهنه دگرسانی فیلیک، پ) نمای صحرایی از پهنه دگرسانی آرژیلیک (دید به سمت شمال) و ت) حضورهای کانی‌های اپیدوت و کلریت در پهنه دگرسانی پروپیلیتیک. (Qz: کوارتز، Ep: اپیدوت، Chl: کلریت، Ser: سریسیت، Pl: پلاژیوکلاز، Py: پیریت و Clay: کانی‌های رسی [۱۷]).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.5.8]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.277]

کانه‌زایی

کانی‌سازی در منطقه خوینرود به‌صورت رگه- رگچه‌های کوارتزی و بیشتر در راستای پهنه‌های گسلی و درون شکستگی‌ها روی داده است (شکل ۴ الف). رگه- رگچه‌های کوارتزی در منطقه توسط هر دو واحد کوارتزمونزونیتی و دیوریتی میزبانی می‌شوند، ولی اغلب این رگه- رگچه‌ها در واحد دیوریتی دیده شده‌اند. راستای این رگه‌ها متفاوت بوده و از شرقی- غربی تا شمالی- جنوبی متغیر است. شیب رگه‌ها نیز زیاد بوده و به‌طور تقریبی تا ۸۰ درجه اندازه‌گیری شده است. شیب در رگه‌هایی با راستای شرقی- غربی به‌سمت شمال و در رگه‌هایی با راستای شمالی- جنوبی به‌سمت غرب است. رگه‌های کوارتزی دارای طولی بین ۱۰ تا ۳۵۰ متر و ضخامتی بین ۳ تا ۱۵ متر هستند. این رگه- رگچه‌ها اغلب به‌رنگ سفید چرک دیده می‌شوند و گاهی ساخت داربستی را تشکیل داده‌اند (شکل ۴ ب). همچنین رگه- رگچه‌های کوارتزی بافت‌های نواری (شکل ۴ پ)، شانه‌ای (شکل ۴ ت)، پرکننده فضای خالی (شکل ۴ ث)، حفره‌ای و برشی (شکل ۴ ج) نشان می‌دهند. کانی‌سازی در رگه- رگچه‌های کوارتزی شامل کانی‌های سولفیدی (کالکوپیریت، پیریت و بورنیت) و طلاست.

بر اساس بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی، کانه‌زایی در منطقه خوینرود طی دو مرحله درونزاد و برونزاد روی داده است. در مرحله درونزاد، فعالیت محلول‌های گرمابی سبب تشکیل رگه- رگچه‌های کوارتزی و گسترش پهنه‌های دگرسانی (سیلیسی، فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک) پیرامون آنها شده است. کانی‌سازی سولفیدی (کالکوپیریت، پیریت و بورنیت) و طلا در این مرحله از کانه‌زایی رخ داده است. در مرحله برونزاد، واکنش سیال‌های جوی فرورو با کانی‌های سولفیدی اولیه سبب تشکیل کانی‌های ثانویه چون اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت، هماتیت و جاروسیت)، کربنات‌های مس (مالاکیت و آزوریت) و سولفیدهای ثانویه مس (کوولیت و کالکوسیت) شده است.

کالکوپیریت مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانی سولفیدی مس در منطقه خوینرود است و به‌صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار حضور دارد (شکل ۵ الف). این کانی اغلب با اندازه‌های ۵۰ میکرون تا چند میلی‌متر به‌صورت لکه‌ای و پراکنده در زمینه سیلیسی دیده می‌شود. بخشی از کانی کالکوپیریت در اثر فرآیندهای برونزاد اغلب از لبه با کانی‌های مالاکیت، آزوریت، گوتیت، هماتیت، جاروسیت، کوولیت و کالکوسیت جانشین شده است (شکل ۵ ب). پیریت نسبت به کالکوپیریت فراوانی کمتری دارد و به‌صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و با اندازه ۱۰۰ تا ۳۰۰ میکرون اغلب به‌صورت پراکنده درون بلورهای کوارتز دیده می‌شود. این کانی اغلب به گوتیت، هماتیت و جاروسیت تبدیل شده است (شکل ۵ پ). کانی بورنیت بیشتر همراه با کالکوپیریت یافت می‌شود و به‌طور ترجیحی جانشین آن شده است. این کانی اغلب با گوتیت، هماتیت، جاروسیت، مالاکیت و آزوریت جانشین شده است (شکل ۵ ب). طلا نیز به‌صورت پراکنده و آزاد با اندازه‌های بسیار ریز درون کانی‌های کوارتز حضور دارد (شکل ۵ ت). مالاکیت و آزوریت که ناشی از دگرسانی کانی‌های کالکوپیریت و بورنیت هستند، در نتیجه واکنش مس آزادشده با کمپلکس کربناتی تشکیل شده‌اند. این کانی‌ها به‌صورت پراکنده و پرکننده حفره‌ها و فضاهای خالی قابل دیده هستند. مالاکیت گاهی با بافت رشته‌ای نیز در منطقه دیده می‌شود (شکل ۵ ث). آزوریت فراوانی کمتری نسبت به مالاکیت دارد و با رنگ آبی لاجوردی در منطقه قابل تشخیص است (شکل ۵ ج). گوتیت، هماتیت و جاروسیت در اثر اکسایش کانی‌های سولفیدی اولیه تشکیل شده‌اند و اغلب به‌صورت جانشینی در کناره‌های کانی‌های سولفیدی دیده می‌شوند (شکل‌های ۵ ب و پ). کوولیت و کالکوسیت به‌صورت جانشینی در لبه کانی کالکوپیریت حضور دارند.

کانی‌های باطله موجود در منطقه کوارتز و کلسیت هستند که کوارتز اصلی‌ترین کانی باطله در منطقه محسوب می‌شود. این کانی را می‌توان بر اساس اندازه بلورها به دو دسته ریزبلور و درشت بلور تقسیم نمود. بلورهای کوارتز به‌صورت نهان‌بلور تا بلورهای خودشکل و درشت به رنگ سفید تا خاکستری در رگه- رگچه‌های کوارتزی قابل شناسایی هستند. کلسیت در مقطع میکروسکوپی به‌صورت بلورهای ریز و درشت با بافت پرکننده فضای خالی و رگچه‌ای حضور دارد.

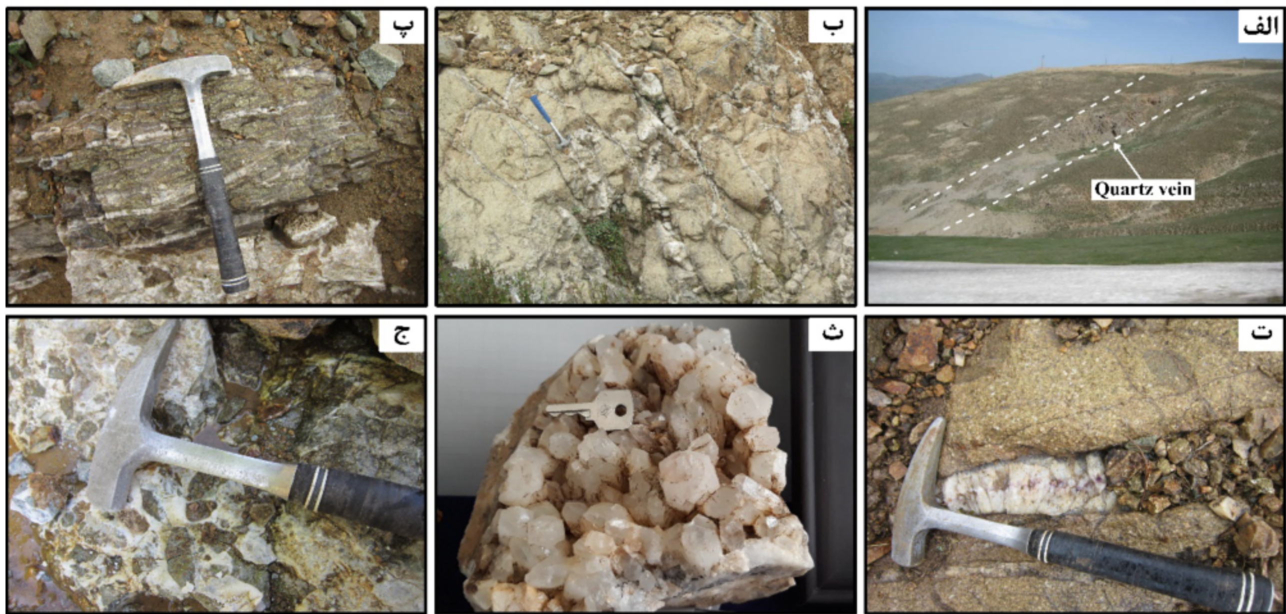
بررسی

میانبارهای سیال

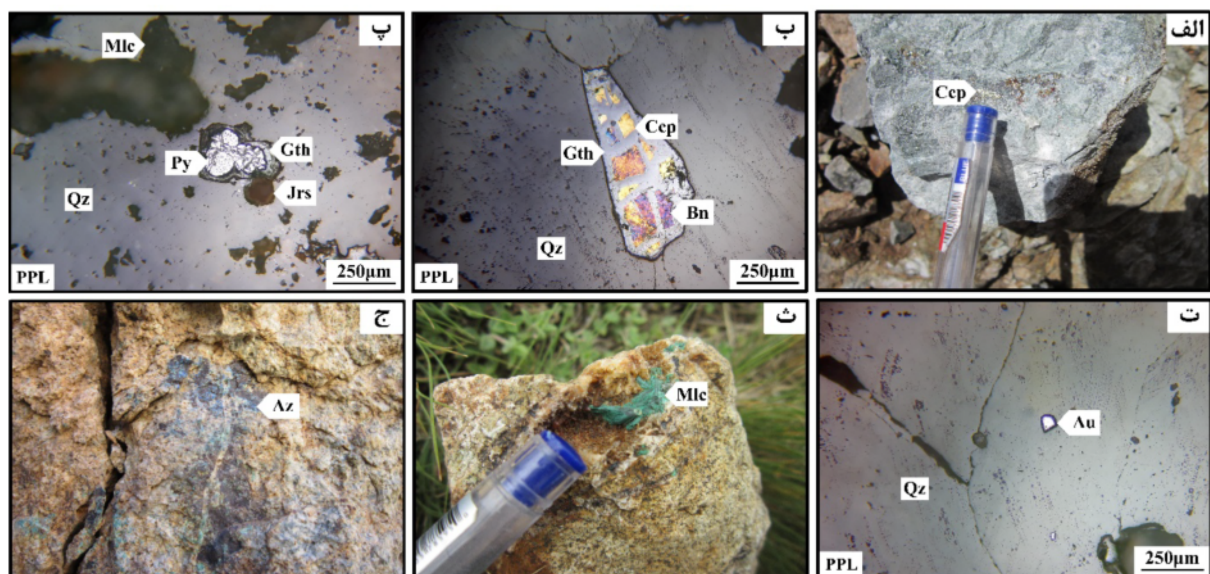
بررسی میانبارهای سیال، می‌توان افزون بر دمای شکل‌گیری کانسار، ترکیب شیمیایی سیال‌های کانه‌ساز را نیز تا حدی تعیین کرد. افزون بر این، بررسی میانبارهای سیال به عنوان روشی مستقیم برای تشخیص وضعیت سیال‌های کانه‌ساز و فرآیندهای مؤثر در تشکیل کانسار اهمیت بسیاری دارد و

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.5.8]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.277]

اطلاعات مهمی از خاستگاه و تکامل سیال‌ها ارائه می‌دهد [۱۸]. برای شناسایی شرایط فیزیکوشیمیایی سیال های کانه‌ساز در منطقه خوینرود، میانبارهای سیال کانی‌های کوارتز همزاد با کانی‌سازی بررسی شدند. پس از بررسی‌های سنگ‌نگاری مقاطع دوبر صیقلی، آزمایش‌های دماسنجی برای آنها انجام شد.



شکل ۴ تصاویر صحرایی و مزوسکوپی از رگه- رگچه‌های کوارتز و بافت‌های موجود در آنها در منطقه خوینرود: الف) نمای صحرایی از رگه کوارتزی در واحد سنگی دیوریتی (دید به سمت شمال‌شرق)، ب) ساخت داربستی در رگه- رگچه‌های کوارتزی، پ) بافت نواری در رگه- رگچه‌های کوارتز، ت) نمایی از بافت شانه‌ای در بلورهای کوارتز، ث) رخنمونی از بلورهای کوارتز با بافت پرکننده فضای خالی و ج) نمایی از برشی شدن رگه- رگچه‌های کوارتزی.



شکل ۵ تصاویر مزوسکوپی و میکروسکوپی از کانی‌های درونزاد و برونزاد در رگه- رگچه‌های کوارتزی منطقه خوینرود: الف) کانه‌زایی کالکوپیریت در رگه- رگچه‌های کوارتزی، ب) کالکوپیریت و بورنیت که توسط گوتیت جانشین شده‌اند، پ) کانی پیریت که به گوتیت و جاروسیت دگرسان شده است، ت) حضور ذره طلا درون بلورهای کوارتز، ث) کانی‌سازی مالاکیت با بافت رشته‌ای و ج) نمایی از کانی آزوریت به رنگ آبی لاجوردی. (Qz: کوارتز، Ccp: کالکوپیریت، Gth: گوتیت، Bn: بورنیت، Py: پیریت، Jrs: جاروسیت، Mlc: مالاکیت و Az: آزوریت [۱۷]).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.5.8]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.277]

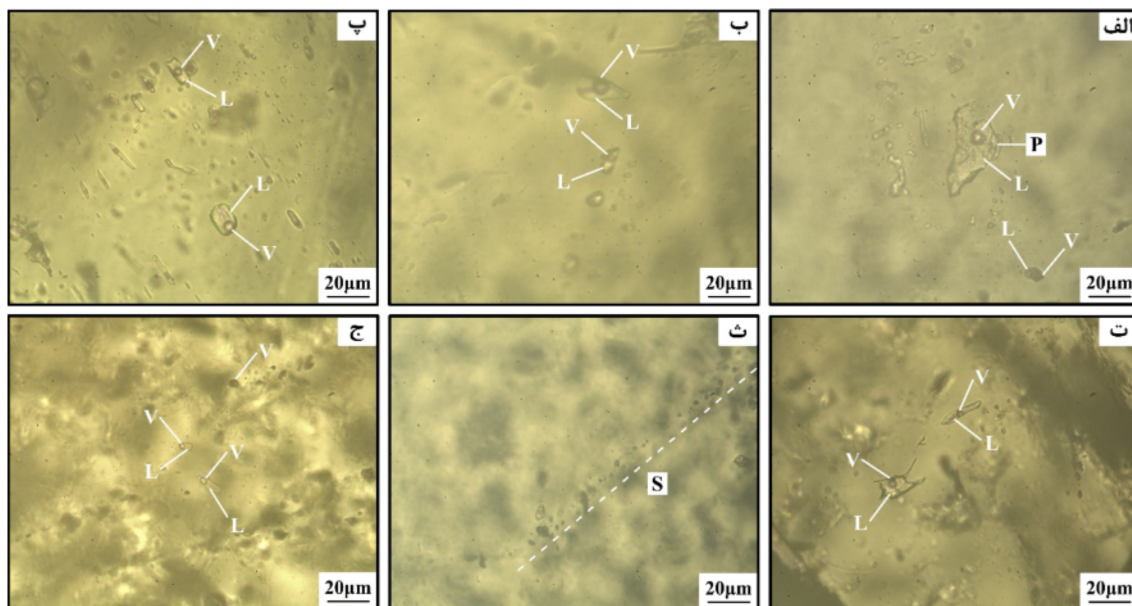
سنگ‌نگاری میانبارهای سیال: در بررسی‌های سنگ‌نگاری میانبارهای سیال، ویژگی‌هایی چون شکل، نوع، اندازه، درجه پرشدگی و نسبت‌های فازی آنها بررسی شدند. میانبارهای سیال موجود در کانی‌های کوارتز منطقه خوینرود از نظر ریخت‌شناسی به‌صورت نامنظم و بی‌شکل، کشیده، بیضوی و نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار دیده می‌شوند (شکل‌های ۶ الف تا ت) و شامل انواع اولیه (P، شکل ۶ الف) و ثانویه (S؛ شکل ۶ ث) هستند [۱۹]. دماسنجی اغلب برای میانبارهای سیال اولیه انجام شد. اندازه میانبارهای سیال در منطقه خوینرود کمتر از ۵ تا ۳۵ میکرون (اغلب ۱۰ تا ۲۰ میکرون) است و گاهی پدیده باریک‌شدگی نیز در آنها دیده می‌شود (شکل ۶ ت). هیچ شاهدی از وجود CO_2 مایع یا گاز و کانی‌های نوزاد در میانبارهای سیال منطقه خوینرود دیده نشد. میانبارهای سیال بررسی شده را می‌توان بر پایه مقدار فازی موجود [۲۰] و به ترتیب فراوانی به انواع دوفازی غنی از مایع (L+V)، دوفازی غنی از گاز (V+L) و تک‌فاز گازی (V) تقسیم نمود که در ادامه توضیح داده می‌شود.

دوفازی غنی از مایع (L+V): این نوع میانبارهای سیال نسبت به انواع دیگر بیشترین فراوانی را دارند و اغلب به‌صورت شکل‌های نامنظم، کروی، مربع، مستطیل، کشیده و نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار هستند. این نوع میانبارها هم به‌صورت اولیه و هم به‌صورت ثانویه وجود دارند. در این نوع میانبارهای سیال، فاز مایع غالب است و به طور تقریبی بیش از ۸۰ درصد حجمی میانبارها را تشکیل می‌دهد و درجه پرشدگی آنها بیشتر است. اندازه این نوع میانبارها اغلب بین ۱۰ تا ۲۰ میکرون متغیر است و پدیده باریک‌شدگی نیز بیشتر در این نوع میانبارها دیده می‌شود (شکل‌های ۶ الف تا ت).

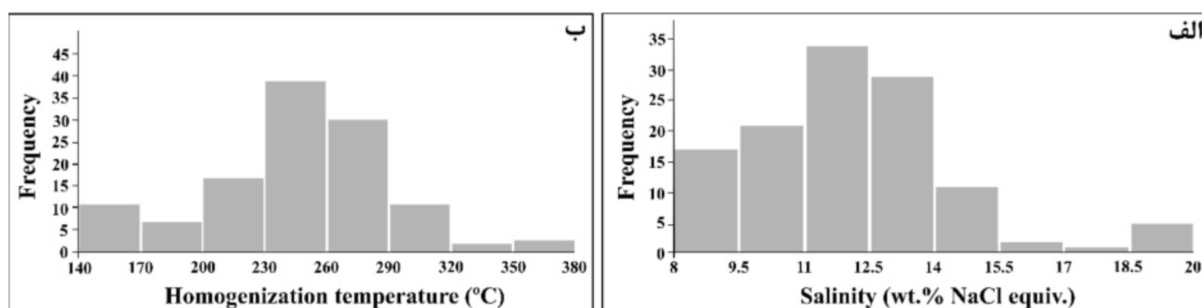
دوفازی غنی از گاز (V+L): فاز گازی در این نوع میانبارهای سیال غالب بوده و حدود بیش از ۷۰ درصد حجم میانبارها را اشغال کرده است، از اینرو، این نوع میانبارها درجه پرشدگی پایینی دارند. این نوع میانبارها نسبت به میانبارهای سیال دو فازی غنی از مایع فراوانی کمتری دارند و اندازه بیشتر آنها به طور تقریبی ۱۰ تا ۱۵ میکرون است. این نوع میانبارها بیشتر به‌صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار در کنار میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع دیده می‌شوند (شکل ۶ الف).

تک فاز گازی (V): این نوع میانبارهای سیال نسبت به سایر میانبارها فراوانی بسیار کمتری دارند و اندازه آنها نیز اغلب کمتر از ۱۰ میکرون است. بیشتر حجم (حدود بیش از ۹۵ درصد) این نوع میانبارها را فاز گازی تشکیل می‌دهد. این نوع میانبارها به طور عمده به شکل‌های کروی و نامنظم تا نیمه‌شکل‌دار وجود دارند و همراه با میانبارهای سیال دو فازی غنی از مایع هستند (شکل ۶ ج).

دماسنجی میانبارهای سیال: به‌دلیل ریز بودن میانبارهای سیال دوفازی غنی از گاز و امکان بروز خطا، بررسی‌های دماسنجی فقط برای میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع انجام شد. برای این منظور، نخست عمل سرمایش و سپس گرمایش بر میانبارهای سیال صورت گرفت. طی سرمایش، انجماد پایانی میانبارهای سیال در گستره دمایی ۸۰- تا ۹۰- درجه سانتی‌گراد انجام شد. با افزایش دما، نخستین نقطه ذوب یخ (Tfm) تعیین شد که حدود ۲۱- درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. مقادیر دمای همگدازی (Tfm) میانبارها نشان می‌دهد که نمک محلول غالب در سیال های گرمابی NaCl بوده است. سپس دماهای ذوب آخرین قطعه یخ (Tm_{ice}) اندازه‌گیری شد که مقادیر آن در گستره ۱۶٫۷۰- تا ۵٫۱۰- درجه سانتی‌گراد متغیر است. شوری میانبارهای سیال بر اساس مقادیر Tm_{ice} [۲۱] در گستره ۸ تا ۲۰ درصد وزنی معادل نمک طعام محاسبه شد اما بیشترین فراوانی شوری به‌دست آمده مربوط به مقادیر بین ۱۱ تا ۱۲٫۵ درصد وزنی معادل نمک طعام است (شکل ۷ الف). طی گرمایش، میانبارهای سیال تا دمای حدود ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد گرم شده و همه آنها با از بین رفتن فاز گازی همگن شدند. دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال در گستره ۱۴۰ تا ۳۸۰ درجه سانتی‌گراد بوده و بیشترین فراوانی آن مربوط به گستره دمایی ۲۳۰ تا ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۷ ب). نتایج به‌دست آمده از بررسی های دماسنجی میانبارهای سیال در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی از انواع میانبارهای سیال در کانی‌های کوارتز منطقه خوینرود: الف) میانبار سیال اولیه دو فازی غنی از مایع (L+V) با شکل نامنظم در کنار میانبار سیال دو فازی غنی از گاز (V+L)، ب) میانبارهای سیال دو فازی غنی از مایع (L+V) با شکل بیضوی، پ) میانبارهای سیال دو فازی غنی از مایع (L+V) که به صورت مربع و مستطیلی شکل دیده می‌شوند، ت) میانبار سیال دو فازی غنی از مایع (L+V) با شکل کشیده و میانبار سیالی که دچار پدیده باریک‌شدگی شده است، ث) میانبارهای سیال ثانویه و ج) میانبارهای سیال دو فازی غنی از مایع (L+V) همراه با میانبار سیال تک فاز گازی (V).



شکل ۷ الف) نمودار ستونی شوری (بیشترین فراوانی مربوط به گستره ۱۱ تا ۱۲٫۵ درصد وزنی معادل نمک طعام است) و ب) نمودار ستونی دمای همگن‌شدگی (بیشترین فراوانی مربوط به گستره ۲۳۰ تا ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد است) برای میانبارهای سیال منطقه خوینرود.

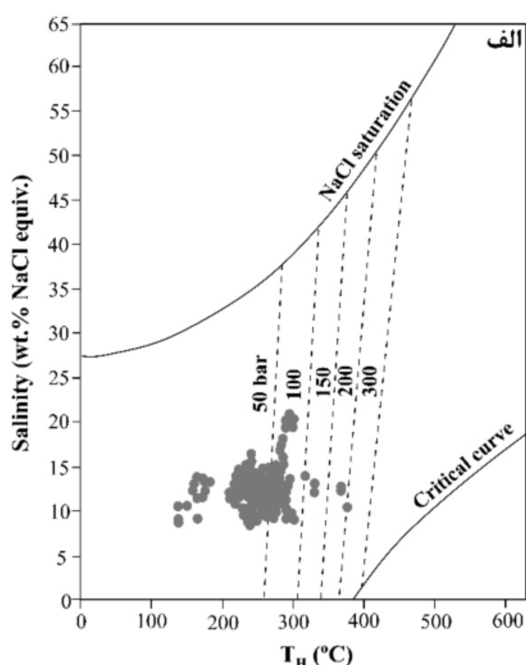
جدول ۱ نتایج بررسی‌های دماسنجی میانبارهای سیال در منطقه خوینرود.

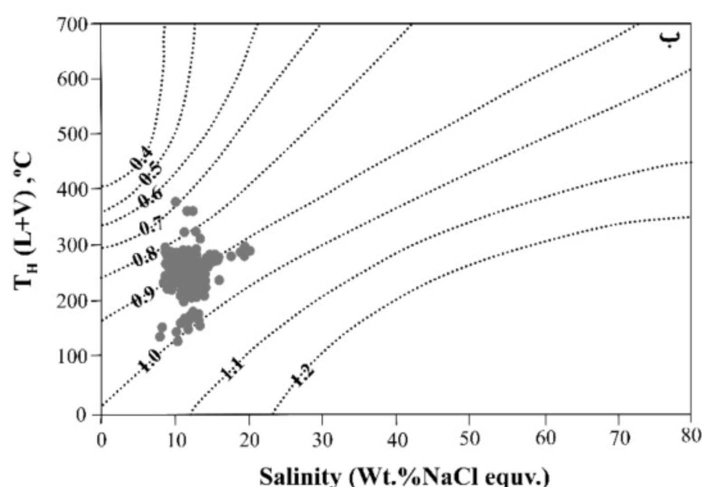
شماره نمونه	تعداد	اندازه(µm)	کانی	نوع	Tm_{ice} (°C)	Wt% NaCl.eq	Th (°C)	چگالی(g/cm^3)
KH-1	۲۱	۳۵-۹	کوارتز	L+V	(-۵٫۶۶)-(-۱۶٫۱۹)	۸٫۱۹-۷۵٫۵۹	۳۰۱-۲۱۶	۰٫۰-۸۴٫۹۴
KH-2	۲۴	۳۵-۱۰	کوارتز	L+V	(-۵٫۸۰)-(-۱۶٫۷۰)	۸٫۲۰-۹۴	۳۸۰-۲۱۷	۰٫۰-۶۸٫۹۴
KH-3	۲۹	۳۰-۹	کوارتز	L+V	(-۵٫۱۰)-(-۱۰٫۱۲)	۱۴-۸٫۰۶	۲۸۳-۱۴۰	۰٫۱-۸۶
KH-4	۲۳	۳۲-۸	کوارتز	L+V	(-۵٫۲۶)-(-۱۰٫۱۲)	۸٫۱۴-۲۷٫۰۶	۳۰۰-۱۴۰	۰٫۱-۸۱
KH-31	۲۳	۳۵-۱۳	کوارتز	L+V	(-۵٫۸۰)-(-۱۲٫۰۱)	۸٫۱۵-۹۴٫۹۶	۳۶۸-۲۰۹	۰٫۰-۷۳٫۹۵

ویژگی و تکامل سیال‌های کانه‌ساز

وجود بافت برشی در رگه- رگچه‌های کوارتزی و همچنین همزیستی میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع با میانبارهای سیال تک‌فاز گازی می‌تواند بیانگر آن باشد که سیال های کانه‌ساز طی نهشت کانسنگ‌ها دستخوش پدیده جوشش شده‌اند [۲۲، ۲۳]. از اینرو، با توجه به رخداد فرآیند جوشش در

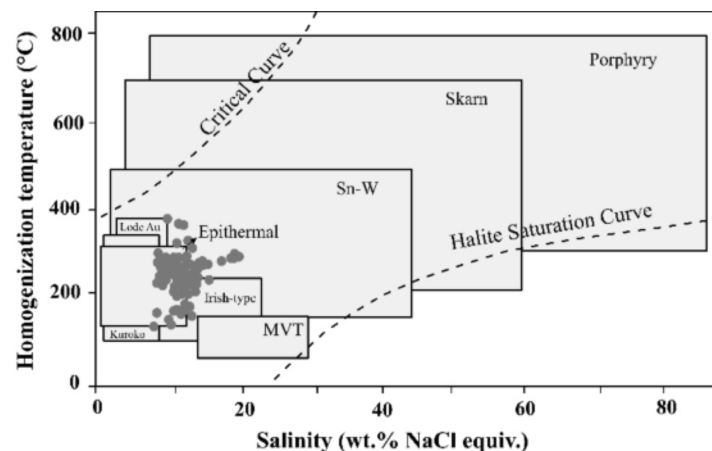
میانبارهای سیال منطقه خوینرود، فشار به‌دام افتادن سیال های کانه‌ساز معادل فشار ایستابی در دمای همگن‌شدگی است [۲۱]. براساس نمودار دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری [۲۰]، فشار بیشتر میانبارهای سیال خوینرود حدود ۵۰ بار برآورد می‌شود (شکل ۸ الف). این مقدار فشار می‌تواند بیانگر معادل عمق ۵۰۰ متری زیر سطح ایستابی باشد که نزدیک به عمق تشکیل بیشتر ذخایر فراگرمایی است [۲۴]. بر پایه یافته‌های برآمده از دمای همگن‌شدگی و شوری میانبارهای سیال می‌توان چگالی سیال را بدون در نظر گرفتن شرایط به‌دام افتادن آنها تعیین کرد [۲۵]. جایابی مقادیر دمای همگن‌شدگی و شوری میانبارهای سیال منطقه خوینرود بر نمودار مرجع [۱۸] نشان می‌دهد که چگالی میانبارهای سیال در گستره ۰/۶۸ تا ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب قرار دارد، اما بیشتر میانبارها دارای چگالی‌هایی بین ۰/۸۵ تا ۰/۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند (شکل ۸ ب). از مقایسه نتایج دماسنجی میانبارهای سیال منطقه خوینرود با نمودار مرجع [۱۸] مشخص می‌شود که یافته‌های میانبارهای سیال اغلب در گستره کانسارهای نوع فراگرمایی جای دارند (شکل ۹). افزون بر این، شواهدی چون حضور کانی‌های کالکوپیریت، پیریت، بورنیت و طلا [۲۶]، تشکیل بافت‌هایی از قبیل نواری، شانه‌ای، پرکننده فضای خالی، حفره‌ای و برشی در رگه- رگچه‌های کوارتزی [۲۷]، گسترش انواع دگرسانی‌های سیلیسی، فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک [۲۸، ۲۹] و همچنین مقادیر شوری و دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال [۳۰] می‌تواند بیانگر آن باشد که کانی‌سازی در منطقه خوینرود در ردیف کانسارهای فراگرمایی نوع سولفیدشدگی پایین قرار دارد. در جدول ۲ ویژگی‌های ذخیره مس- طلای خوینرود با برخی از کانسارهای فراگرمایی نوع سولفیدشدگی پایین در ایران مقایسه شده است [۳۱-۳۴]. برای تعیین نوع کمپلکس‌های مؤثر در حمل فلزها می‌توان از نمودار دومتغیره دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری استفاده کرد [۳۵]. بر این اساس، لیگاندهای مؤثر در حمل و نقل فلزها در منطقه خوینرود از هر دو نوع کلریدی و سولفیدی بوده‌اند (شکل ۱۰ الف). براساس نمودار شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی استفاده شده برای تعیین روند تکاملی سیال های کانه‌ساز در منطقه خوینرود [۱۸، ۲۰]، پدیده‌های جوشش، سرد شدن و رقیق‌شدگی با سیال های جوی مهمترین عوامل در نهشت کانسنگ‌ها بوده‌اند (شکل ۱۰ ب).





شکل ۸ الف) نمودار دو متغیره دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری [۲۰] برای نشان دادن الگوی توزیع یافته‌های مربوط به میانبارهای سیال منطقه خوینرود نسبت به منحنی‌های بحرانی و اشباع هالیت و ب) تغییرات مقدار چگالی میانبارهای سیال منطقه خوینرود در نمودار دمای همگن‌شدگی نسبت به شوری [۱۸] که بیشتر مقادیر در گستره ۰/۸۵ تا ۰/۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب قرار دارند.

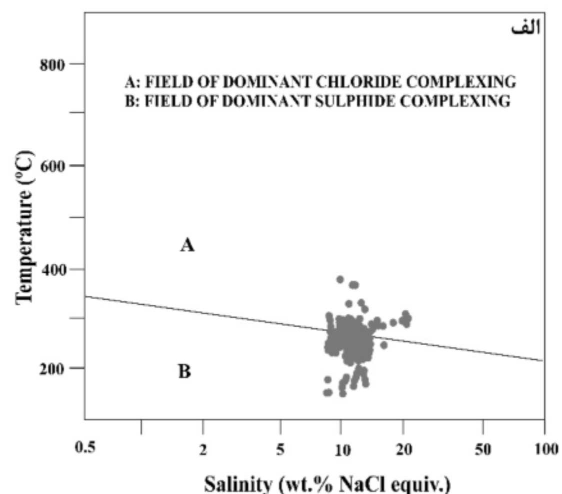
[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.5.8]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.277]

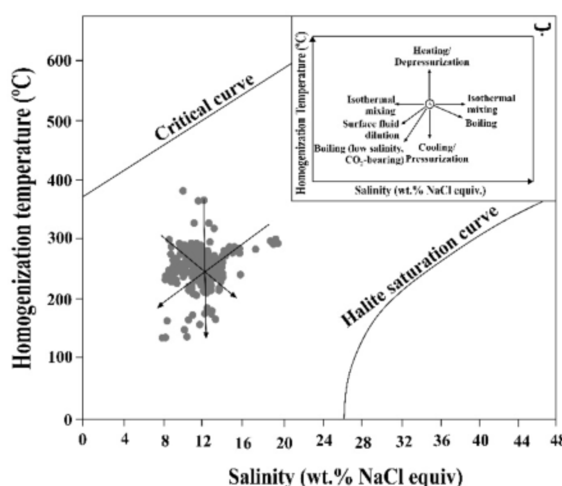


شکل ۹ نمودار دمای همگن‌شدگی- شوری [۱۸] برای تعیین خاستگاه احتمالی سیال‌های گرمابی در منطقه خوینرود که در آن نقاط مربوط به یافته‌های میانبارها به طور عمده در گستره کانسارهای نوع فراگرمایی واقع هستند.

جدول ۲ مقایسه ویژگی‌های ذخیره مس- طلای خوینرود با برخی از کانسارهای فراگرمایی نوع سولفیدشدگی پایین در ایران.

ویژگی	شلنگ	شمال بزمان	کالچویه	قره‌چای	خوینرود
سنگ میزبان	توف، آندزیت و داسیت	آندزیت و توف	پیروکسن آندزیت و تراکی آندزیت	آندزیت و آلکالی گرانیت	کوارتزمونزونیت و دیوریت
دگرسانی	پروپیلیتیک، آرژیلیک حدواسط، سیلیسی و کربناتی	پروپیلیتیک، آرژیلیک، سریسیتی، کربناتی و سیلیسی	پروپیلیتیک و سیلیسی	سیلیسی، فیلیک، فیلیک- آرژیلیک و پروپیلیتیک	سیلیسی، فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک
کانه‌ها	کالکوپیریت، پیریت و مگنتیت	پیریت، اسفالریت، گالن، طلا، الکتروم، کالکوپیریت، بورنیت، تنانتیت و انارژیت	کالکوپیریت، گالن، پیریت و مگنتیت	پیریت، کالکوپیریت و طلا	کالکوپیریت، پیریت، بورنیت و طلا
بافت	گل‌کلمی، شانه‌ای، قشرگونه، دانه‌ای، پرمانند، برشی، تیغه‌ای و جانشینی	کلوفرم، حفره‌ای، قشری، شانه‌ای، نواری و برش‌های گرمابی	پرکننده فضای خالی و رگه‌ای	برشی، پوسته‌ای، شانه‌ای و حفره‌ای	نواری، شانه‌ای، پرکننده فضای خالی، حفره‌ای و برشی
فلزها	مس، سرب، روی، طلا و نقره	طلا	مس	طلا	مس- طلا
دمای سیال (°C)	۳۱۳-۲۲۶	۲۹۶-۱۹۰	۳۲۴-۱۷۵	۳۴۰-۲۰۰	۳۸۰-۱۴۰
شوری سیال (wt.% NaCl)	۳٫۹-۴٫۹	۱٫۷-۲۲٫۷۷	۰٫۹-۱۶۶٫۱۸۸	۶٫۱۱-۲٫۷	۲۰-۸
مرجع	[۳۱]	[۳۲]	[۳۳]	[۳۴]	این پژوهش





شکل ۱۰ الف) نمودار شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی [۳۵] برای مشخص کردن نوع کمپلکس‌های حمل‌کننده فلزها، که براساس آن، هر دو کمپلکس‌های سولفیدی و کلریدی در حمل و انتقال فلزهای کانسنگی در سیال های کانه‌ساز منطقه خوینرود نقش داشته‌اند و ب) نمودار شوری- دمای همگن‌شدگی [۱۸، ۲۰] برای یافته‌های میانبارهای سیال منطقه خوینرود که نشان‌دهنده فرآیندهای جوشش، سرد شدن و رقیق‌شدگی با سیال های جوی طی دگرگونی سیال گرمابی است.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.5.8]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.277]

برداشت

مهمترین نتایج به‌دست آمده از بررسی‌های سنگ‌نگاری، پهنه‌های دگرسانی و کانی‌سازی به همراه یافته‌های میانبارهای سیال در منطقه خوینرود به شرح زیر هستند:

۱- کانی‌سازی در منطقه خوینرود به‌صورت رگه- رگچه‌های کوارتزی در راستای پهنه‌های گسلی و درون شکستگی‌ها و طی دو مرحله درونزاد و برونزاد انجام شده است. توده‌های نفوذی با ترکیب کوارتزمونزونیتی و دیوریتی سنگ‌های میزبان این کانه‌زایی هستند.

۲- دگرسانی‌های سیلیسی، فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک پیرامون رگه- رگچه‌های کوارتزی گسترش یافته‌اند. بافت‌های نواری، شانه‌ای، پرکننده فضای خالی، حفره‌ای و برشی در رگه- رگچه‌های کوارتزی شناسایی شدند. کانه‌زایی درونزاد با حضور کانی‌های کالکوپیریت، پیریت، بورنیت و طلا مشخص می‌شود که با کانی‌های برونزاد از جمله اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت، هماتیت و جاروسیت)، کربنات‌های مس (مالاکیت و آزوریت) و سولفیدهای ثانویه مس (کوولیت و کالکوسیت) پوشانده شده‌اند.

۳- بر اساس مقدار فاز اصلی، سه نوع میانبار سیال (دوفازی غنی از مایع، دوفازی غنی از گاز و تک‌فاز گازی) شناسایی شد. بررسی‌های دماسنجی بر میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع موجود در کانی کوارتز تشکیل شده در زمان کانی‌سازی نشان داد که شوری آنها در گستره ۸ تا ۲۰ درصد وزنی معادل نمک طعام و دمای همگن‌شدگی آنها در گستره ۱۴۰ تا ۳۸۰ درجه سانتی‌گراد در تغییر است.

۴- بر پایه نتایج دماسنجی میانبارهای سیال، سیال های کانه‌ساز دارای چگالی ۰٫۶۸ تا ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب و فشار حدود ۵۰ بار بوده‌اند که بر پایه این مقدار فشار، عمق کانی‌سازی حدود ۵۰۰ متری زیر سطح ایستابی برآورد شد. همچنین نتایج دماسنجی میانبارهای سیال نشان داد که کمپلکس‌های سولفیدی و کلریدی نقشی مهم در حمل فلزهای کانسنگی داشته‌اند و فرآیندهای جوشش، سرد شدن و رقیق‌شدگی با سیال‌های جوی از عوامل مؤثر در نهشت کانی‌های کانسنگی بوده‌اند.

۵- بررسی کانی‌شناسی کانی‌های سولفیدی، بافت‌های موجود در رگه- رگچه‌های کوارتز و یافته‌های میانبارهای سیال گویای آن است که کانی‌سازی در منطقه خوینرود را می‌توان از نوع ذخایر فراگرمایی نوع سولفیدگی پایین در نظر گرفت.

قدردانی

بدین وسیله از زحمات جناب آقای مهندس علیزاده، مدیریت محترم شرکت فلزات پایه خوینرود که با فراهم کردن شرایط بازدید از منطقه و نمونه‌برداری نقش به‌سزایی در انجام هر چه بهتر این پژوهش بر عهده داشته‌اند، سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

[1] Nabavi M.H., *"An introduction to the Iranian geology (in Persian)"*, Geological Survey of Iran, (1976) 110p.

[2] Mehrpartou M., Aminifazl, A., Radfar J., *"Geological map of the Varzaghan (1:100000 scale) (in Persian)"*, Geological Survey of Iran, Tehran (1992).

[3] Ghorbani M., *"An introduction to economic geology of Iran (in Persian)"*, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (2002) 659p.

[4] Maghsoudi A., Rahmani M., Rashidi B., *"Gold deposits and indications of Iran (in Persian)"*, Arian Zamin publication (2004) 364p.

[5] Calagari A.A., *"Geology and fracture- related hypogene hydrothermal alteration and mineralization of porphyry copper deposit at Sungun, Iran"*, Journal Geological Society of India 64 (2004) 595-618.

[6] Sheikh S, Calagari A.A., Abedini A., *"The mineralogy of alteration systems in Masjeddaghi, east of Jolfa, East - Azarbaidjan Province (in Persian)"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 17 (4) (2010) 579-590.

[7] Atalou S., Nazafati N., Lotfi M., Aghazadeh M., *"Fluid inclusion investigations of the Masjed Daghi copper-gold porphyry-epithermal mineralization, East Azerbaijan Province, NW Iran"*, Open Journal of Geology 7(8) (2017) 1110-1127.

[8] Pournik P., *"Economic geology and Au exploration at Sharafabad-Hizehjan area (northwest of Varzaghan) (in Persian with English abstract)"*, Institute of Earth Science, Geological Survey of Iran (2002) 201p.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.5.8]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.277]

[9] Ghadimzadeh H., *"Economic geology and Au exploration at Safikhanlou-Noghdouz area (SE Ahar) (in Persian with English abstract)"*, MSc Thesis, Institute of Earth Science, Geological Survey of Iran (2002) 232p.

[10] Miranvari A.S., Calagari A.A., Siahcheshm K., Sohrabi G., *"Investigation of genesis and fluid origin in Noghduz gold bearing quartz veins, East Azarbaijan Province, northwest of Iran (in Persian)"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 27 (3) (2019) 551-564.

[11] Baniadam F., *"Geology and genesis of gold-copper mineralization in Nabijan area (in Persian with English abstract)"*, MSc Thesis, Institute of Geoscience, Geological Survey of Iran (2003) 167p.

[12] Gharesi M., Rasa I., Yazdi M., *"Investigation of Mazraeh Skarn mineralization, North of Ahar, with an emphasis on fluid inclusion studies (in Persian)"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 26 (1) (2018) 229-244.

[13] Ferdowsi R., Calagari A.A., Hosseinzadeh M.R., Siahcheshm K., *"Petrography, geochemistry and mineral chemistry of Astarghan granodioritic stock, Kharvana, East-Azarbaidjan (in Persian)"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 23 (4) (2016) 759-774.

[14] Momenzadeh M., *"Evaluation of the known ore deposits in Ahar rectangle (in Persian)"*, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran, Report (1985).

[15] Mobasher A., Azarm F., *"Investigation and introduction of the potential of gold and other elements in the Khoynaroud area (northwest of Ahar) using the geochemical method and heavy minerals at 1:20000 scale (in Persian)"*, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran, Report (1991) 117p.

[16] ESPEER Group., *"Report of exploration of the Khoynaroud mineralized area (north of Varzaghan city, East Azarbaidjan province) for the purpose of exploration of precious and base metals (in Persian)"*, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran (2006).

[17] Whitney D.L., Evans B.W., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals"*, American Mineralogist 95 (2010) 185-187.

[18] Wilkinson J.J., *"Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits"*, Lithos 55 (2001) 229-272.

[19] Roedder E.,*"Discussion of a reassessment of phase-equilibria involving 2 liquids in the system K2O-Al2O3-FeO-SiO2"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 82 (1984) 284-290.

[20] Shepherd T.J., Rankin A.H., Alderton D.H., *"A practical guide to fluid inclusion studies"*, Blackie, Glasgow (1985) 239p.

[21] Bodnar R.J, *"Introduction to aqueous-electrolyte fluid inclusions"*, In: Samson I., Anderson A., Marshal D., (Editors), Fluid inclusions: Analysis and interpretation. Mineralogical Association of Canada, Short Course 32 (2003) 81-100.

[22] Simmons S.F., White N.C., John, D.A., *"Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits"*, In: Hedenquist J.W., Thompson J.F.H., Goldfarb R.J., Richards J.P., (Editors), Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume, Society of Economic Geologists, Littleton (2005) 485–522.

[23] Moncada D., Mutchler S., Nieto A., Reynolds T.J., Rimstidt J.D., Bodnar R.J., *"Mineral textures and fluid inclusion petrography of the epithermal Ag–Au deposits at Guanajuato, Mexico: Application to exploration"*, Journal of Geochemical Exploration 114 (2012) 20-35.

[24] Bodnar, R.J., Lecumberri-Sanchez P., Moncada D., Steele-MacInnis M., *"Fluid Inclusions in Hydrothermal Ore Deposits"*, In: Holland H.D., Turekian K.K., (Editors), Treatise on Geochemistry. Elsevier, Oxford (2014) 119–142.

[25] Bodnar R.J, *"A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and PVTX properties of inclusion fluid"*, Economic Geology 78(3) (1983) 535-542.

[26] Hedenquist J.W., Arribas A.R., Gonzalez-Urien E., *"Exploration for epithermal gold deposits"*, In: Hagemann S.G., Brown P.E., (Editors), Gold in 2000, Society of Economic Geologists, Littleton (2000) 245-277.

[27] Dong G., Morrison G., Jaireth S., *"Quartz textures in epithermal veins, Queensland-*

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.5.8]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.277]

[32] Omidvar Eshkalak M.R., Mokhtari A.A., *"Geology, alteration, geochemistry and fluid inclusion of Au mineralization in the north Bazman (in Persian)"*, Journal of Geosciences 24 (95) (2015) 165-180.

[33] Hosseini Dinani H., Bagheri H., Shamsipour Dehkordi R., *"Mineralization and geochemical studies in the Kalchouyeh occurrence, southwest of Naein (in Persian)"*, Journal of Economic Geology 4 (2) (2012) 241-256.

[34] Hassani Soughi Z., Calagari A.A., Sohrabi Gh., *"Gold-sulfide mineralization and microthermometry in quartz veins/veinlets in the Gharehchay area, south of Tikmehdash, East-Azarbaidjan province (in Persian)"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy (29) (1) (2021) 97-110.

[35] Pirajno F., *"Hydrothermal processes and mineral systems",* Springer Science, New York (2009) 1273p.

Classification, origin, and implication", Economic Geology 90(6) (1995) 1841-1856.

[28] Cooke D.R., Mcpall D.C., Bloom M.S., *"Epithermal gold mineralization, Acupan, Baguio District, Philipines, geology, mineralization, alteration and the thermochemical environment of ore deposition"*, Economic Geology 91(2) (1996) 243-272.

[29] Sparkes G.W, *"A prospector's guide to alteration and epithermal gold mineralization– Examples from Eastern Avalon"*, Technical Report, Geological Survey Newfoundland and Labrador, Canada (2012) 27p.

[30] Corbett G., "Epithermal gold for explorationists", Australian Institute of Geoscientists 1 (2002) 1-26.

[31] Salehi Tinooni M., Abedini A., Calagari A.A., *"Investigation of mineralization, REE geochemistry, and fluid inclusions studies of the Shalang vein-type polymetallic ore deposit, southwest of Kerman (in Persian)"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 27 (4) (2019) 767-780.